对科学研究的新认识

杜 鹏[1] 沈 华[1] 张 凤[1,2*]
1 中国科学院科技战略咨询研究院 北京 100190
2 中国科学院大学 公共政策与管理学院 北京 100049

摘要 随着科学研究与经济社会相互嵌套影响的不断深入，科学研究受到了前所未有的关注，同时也面临着自身发展的瓶颈。无论是科学研究本身，还是科学建制和科学政策，都处于变化之中。因此，需要深入认识科学知识生产的新规律，重新理解科学、技术与工程之间的互动关系，拓展科学研究的疆域。文章分析了对科学研究进行再认识的原因，从对象、功能和方式3个方面阐述了新时期科学研究的新内涵，并提出了适应科学变革的政策建议。

关键词 科学研究，科学功能，研究对象，科学方法，科研范式

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20211120001

科学对人类社会的意义已经毋庸置疑。尽管从全球来看，科学资助、人才培养、科学论文等的数据表现十分积极，但是在经历两次科学革命之后，对于“科学是否正遭遇瓶颈期”“科学是无限的吗”等的讨论开始进入科技界、政府乃至公众的视野[1]。与此同时，新的科研范式正在形成，科学系统也在不断变化。这一切给科学呈现出一幅复杂的图景。

1 为什么需要重新认识科学研究

1.1 科学受到前所未有的重视

当今世界发展，科学与人类文明、国家福祉关系日益紧密，科学研究已成为破解全球难题的重要手段。进入21世纪，全球科技创新进入空前密集活跃期，各国科技竞争向基础研究竞争前移；基础研究引领科技创新的源头作用愈加凸显，已成为重塑世界格局、创造人类未来的主导力量。世界各国纷纷加强在未来科学和工程前沿、变革性原创探索、颠覆性技术创新等方面的战略布局。例如：美国发布《美国国家科学委员会：2030愿景》（*National Science Board: Vision 2030*），推动基础研究与应用结合；英国发布《研究与开发路线图》（*UK Research and Development Roadmap*）[2]；加大公共科研的资金投入；日本发布《综合创新战略2020》，设立“探月火箭”（Moon Shoot）计划，强调科学研究在支撑经济社会发展中的

*通信作者

资助项目：国家社会科学基金重大研究专项（19VMG024），国家自然科学基金专项（L2024001）
修改稿收到日期：2021年12月4日

作用，更加关注对重大科学问题的研究；欧盟第九研发框架计划“地平线欧洲”（Horizon Europe）明确把使命导向政策作为重要着力点之一[3]，旨在通过目标导向的研究提升竞争力。

中国高度重视科技创新，把科技创新摆在国家发展全局的核心位置。2020年11月，习近平总书记在浦东开发开放30周年庆祝大会上指出：“科学技术从来没有像今天这样深刻影响着国家前途命运，从来没有像今天这样深刻影响着人民幸福安康。我国经济社会发展比过去任何时候都更加需要科学技术解决方案，更加需要增强创新这个第一动力。”

1.2 科学发展是否面临瓶颈?

2018年，Collison和Nielsen[4]发起了一项调查：让全球著名科学家比较各自领域诺贝尔奖获奖成果的相对重要性，再根据比较情况来看100年来获奖成果的质量变化。调查结果令人沮丧：物理学的黄金时代位于20世纪20—30年代，在此之后，则出现了大幅下降，只在20世纪60年代有了一些好转。这意味着，在物理学家眼中，当前物理学中产生的重大成果在100年的历史中似乎并不重要。对诺贝尔化学奖和诺贝尔生理学或医学奖的调查结果比物理学要稍好一些，诺贝尔化学奖和诺贝尔生理学或医学奖在20世纪后半叶有一些微小的进步，但和物理学一样，20世纪90年代和21世纪头10年也被忽略了。应该说，相关调查存在着一定的局限性，但也反映出当前重大科学发现变得更加艰难的窘境。

当前，科学并不能很好地解释气候变化、病毒、暗物质、暗能量等诸多现象，这凸显出科学的困境。如何产生新的科学见解来激发重塑世界的新技术？科学发展需要新的“科技革命”来引领新一轮发展。

实际上，也有很多科学家对科学的发展持乐观态度，比如对希格斯粒子、引力波、人工智能、基因编辑技术等。我们很难估量当前相关领域的研究成果将对未来产生何种巨大影响，但是当前的重大科研成果与过去相比需要更多的时间、经费和人员投入。如果科学研究的产出与投入不相称，这对未来意味着什么？在这种情况下，科学共同体应深入思考分析，找出扭转这种现象的方法，改善优化未来科学发展路径。

1.3 科学系统正在发生前所未有的变化

战略目标导向的科学研究正成为主导各国科技政策的主要思路，科学系统也由此发生了很大的变化。后常规科学、后学院科学、学术资本化、“模式2”知识生产方式等新概念不断出现，以试图解释、理解、推断这种变化趋势[5]。这些变化突出表现在3个方面。

（1）科学研究更注重目标导向。科学研究的发展既有来自科学系统自身不断拓展和深化的内部需求动力，也有来自经济社会发展需要的动力。20世纪开始，开展基础研究的目的已逐步从好奇心驱动的纯基础研究（玻尔象限）转向服务社会和国家需求的应用导向基础研究（巴斯德象限）[6]，更注重目标牵引。

（2）科学研究组织性日益增强。科学研究通常需要多年持续探索积累，不确定因素多、风险大。同时，科学研究的成本日渐增加，需要依赖更多的资源支持，重大科学成果往往是集体努力的结晶，科学家只有被纳入国家或机构的组织框架中才有较大可能成功。平均而言，从20世纪初到20世纪末，科研团队的规模几乎增长了3倍，而且这种增长趋势持续至今[7]。科学研究从原有的“小科学”模式转变为“小科学”与“大科学”协同攻关的模式。科学研究的组织及相应机制越来越成为促进科学发展的关键因素。

（3）科学研究开放合作面临挑战。全球共同关心的气候变化、人口健康等重大挑战，以及物质结构、宇宙起源等重大基础科学问题，需要用整体（holistic）系统的思路来应对。各国积极谋划国际大科学计划，通过整合全球资源和人才开展大团队合作共同应对，体现了科学研究的普遍性、公有主义和无

私利性。然而，在贸易保护主义和政治民粹主义的影响下，科学合作与交流也受到了前所未有的限制，源头技术与首发权、话语权之争日趋激烈。如何在竞争合作中保持科学研究的创新活力和能力，是各国需要思考和解决的问题。

2 重新认识科学研究的对象、功能和方式

近年来，科学面临形势的变化及科学系统自身的变化呈现出科学知识生产过程中实用化趋向，科学研究的资源配置和知识消费的供需关系也由此发生改变，重塑了科学、技术、创新之间的互动关系。这种变化在本质上反映了科学研究在对象、功能、方式上的拓展。

2.1 科学研究对象的拓展

“自然的发现”被认为是科学诞生的标志，也就是科学的核心是用自然的东西来解释自然而不诉诸超自然的神话[8]。其中，“自然”有 2 种含义：① 本质、本性，通过追寻自然，探求事物的内在本质和规律；② 与人造物相对的自然物，也就是自然系统。自然物是一种客观存在，无需发现，因此“自然的发现”是指前者。但是，自然物能够自主生长、自身涌现，具有自主性和内在性。为此，亚里士多德将自然的 2 种含义统一起来，探寻自然物的本质和规律就此成为古希腊科学和近代科学的核心目标。科学的发展，也在不断开拓认识自然的边界。

随着科学体制化和职业化进程的深入，科学研究的重要意义和可靠性不断彰显。19 世纪，以法拉第、麦克斯韦为代表的电磁学科学成果，开始同工业生产和产业发展紧密结合起来。自此，科学理性和工匠传统的结合，孕育了众多的新兴产业和人造系统，引发了人类生产和生活方式的根本改变。据估算，2020 年，人类亲手制造出的人造物质量约为 1.1 万亿吨，与地球上所有生物质量（干重）相近。如果保持现有发展趋势，人造物质量将在 20 年后 3 倍于生物世界总质量[9]。

由此，科学研究的对象正不断从以自然系统为主拓展到自然系统、人造系统并重。人类的知识要素、技术要素日益复杂，在丰富科学研究对象的同时，也拓展了科学问题域，以认识人工系统基本原理为主要目的的科学研究将占据越来越大的比重。

2.2 科学研究功能的拓展

科学研究的功能首先体现在对客观世界的理性认知与合理解释之上，即以自然系统为对象，研究自然界的物质形态、结构、性质和运动规律，旨在发现自然系统的客观规律。这也就意味着，知识本身即为目的，其主要价值不在于实用。这种观念脱胎于古希腊自然哲学并影响至今。亚里士多德[10]认为：“不论现在，还是最初，人都是由于好奇而开始哲学思考，……如若人们为了摆脱无知而进行哲学思考，那么，很显然他们是为了知而追求知识，并不以某种实用为目的。”与此同时，科学研究不仅意味着人类知识宝库的扩展，而且也体现了一种纯粹的思想力量。近代科学的实证主义、人文主义和理性精神，成为欧洲宗教改革和启蒙运动的思想源泉，有力推动了欧洲民族国家的崛起和民主制度的建立，继而实现现代化转型。科学作为一种思想力量，在今天仍对人类的文明进步产生巨大影响。

从 19 世纪的电力技术到 20 世纪能源、新材料、空间、生物等新兴技术的兴起，科学研究的作用充分彰显。1945 年 7 月，范内瓦 · 布什（Vannevar Bush）[11]在提交美国政府的《科学：无尽的前沿》（*Science: The Endless Frontier*）中，首次明确提出了科学对于国家的重要性与必要性，认为基础研究是没有明确应用目的，以好奇心驱动的科学研究，是一切知识的源泉，并构建了基础研究到应用研究的“线性模型”。通过基础研究能够自然而然地获得实用性的成果，即“无用之用”。

在各国国家创新体系的牵引下，科学研究发展到

新阶段，功能向更加实用拓展。在通过线性模型实现“无用之用”的基础上，科技创新更加强调从工程实践和技术开发实际中出发，凝练出的相关科学问题牵引着基础研究不断深入，通过反复迭代，使得创新周期大幅缩短。

具体来说，随着科学方法、科学工具、科学实验的发展，以及科学教育的建制化，技术向着知识化、科学化、系统化转变[12]。同时，科学研究的手段也越来越离不开技术和工程的支撑，技术是科学与传统工匠技术结合的产物，不仅仅是科学的简单应用[13]。例如，在信息通讯领域，从特殊场景到一般规律的逆向创新形式屡见不鲜。很多企业开发出满足市场需求的具体产品，以实践中发现和凝练的科学问题为牵引，通过基础研究推动相关产品的不断优化升级。因此，很多技术产品不仅需要大量的工程技术实践积累和经验判断，而且需要解决工程技术实践的原理性问题，以基础原理和基础理论作为根本依据。在科学家、工程师、企业家、智库专家等众多创新主体的密切协同下，科学与技术、发现与发明、基础研究与应用研究不断打破边界，融会贯通，从而彰显出技术科学的重要价值和作用[14]。

2.3 科学研究方式的拓展

1620年，弗朗西斯·培根（Francis Bacon）在《新工具》中描绘出“假说、实验、结论”的科学方法轮廓。1660年，英国皇家学会成立，聚集了一批信奉培根方法的自然哲学家，也拉开了科学体制化的序幕。自此，实验归纳和模型推演也成为科学研究的主要方法。科学研究在还原论的指导下取得了巨大成就，但在解释生物机体和意识等方面仍遇到不少困难，特别在解决经济、社会等复杂问题时，更是如此。

20世纪中期以后，计算机作为一种有效的方法工具，在解决各个学科的数值模拟、模型拟合、仿真和计算优化问题方面发挥了重要作用，成为实验归纳和模型推演的有益补充。当前物理学非线性的前沿研究表明，在处理一些不可能解析的非线性系统数学时，计算机模拟可以将已知微观客体的物理性质与复杂系统的基本经验性定律联系，提供了另一种（可能是新的）理解高度[15]。由于超算和人工智能的发展，计算机的处理能力越来越强，速度越来越快，加上复杂性科学的推动，更加放大了仿真模拟的价值。在一定程度上，可以把在科学研究中使用计算机进行仿真模拟，类比于生物学中使用显微镜的意义。

随着5G通信、物联网、大数据、云计算、人工智能、区块链等新一代信息技术的发展，无论是在学术界、产业界，还是在现实的经济社会生活中，都很容易发现数据所展现的力量。海量的数据、计算能力极大的提高、数字经济的发展等都在催生数据科学的产生。2007年1月，图灵奖获得者詹姆士·格雷（James Gray）以《e-Science：一种科研范式的变革》为题，在美国国家研究理事会计算机科学与通讯分会（NRC-CSTB）大会上发表了著名的演讲。在演讲中，格雷将科学方法论意义上研究范式分为4类：除了之前已经出现的实验归纳、模型推演、仿真模拟之外，新的信息通信技术正在推动新的范式出现，即数据密集型科学发现[16]。格雷的预言在当前已经部分实现，海量数据已经成为重要的科研基础设施，数据科学也将成为推动科研范式变革的有效突破口。

3 政策启示

面对科学的复杂图景需要打破传统思维，在科学研究和科研资助中有效采用适应和推动科学范式变革的理念和策略。

（1）要改革管理方式，加强学科领域之间、科学与技术工程之间、部门之间的协作。通过线性、反向、循环相结合的组织创新，探索建立多元化的管理模式，并配套相应的部门协调机制和人、财、物管理体制，使得科研管理能适应科学发展和学科交叉融通的需求。

（2）针对不同研究对象下的差异，细化分类支持政策。对自然系统的前沿探索以识人的方式，建立高度的竞争择优机制，并在此基础上给予稳定持续支持；对人造系统的研究加强实践导向，强化团队协作和实际效果。

（3）要加强方法和平台的支持力度，为推动范式变革提供支撑。支持数据驱动型科学研究的基础算法模型、复杂系统的计算机模拟及相应的通用技术方法，强化高端仪器和装备研制、工具软件研发、检测和分析平台等相关平台建设，建立相应的共享机制及政策保障制度。

参考文献

1 Horgan J. 科学是否正遭遇瓶颈期?. 许林玉, 编译. 世界科学, 2018, (6): 31-33.

2 Department for Business, Energy & Industrial Strategy. UK Research and Development Roadmap. [2021-12-01]. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/896799/UK_Research_and_Development_Roadmap.pdf.

3 Georghiou L, Tataj D, Celio J, et al. Mission-oriented Research and Innovation Policy—A RISE Perspective. [2021-12-01]. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/mission_oriented_r_and_i_policy-a_rise_perspective.pdf.

4 Collison P, Nielsen M. 科研怪象：产出与投入越来越不相称. 蔡立英, 编译. 世界科学, 2019, (3): 42-45.

5 Hessels L K, van Lente H. Re-thinking new knowledge production: A literature review and a research agenda. Research Policy, 2008, 37(4): 740-760.

6 D. E. 司托克斯. 基础研究与技术创新：巴斯德象限. 北京: 科学出版社, 1999.

7 潘教峰, 杜鹏. 夯实科技强国建设的知识基础——从基础研究的概念和特点谈起. 中国科学报, 2021-11-22(01).

8 吴国盛. 自然的发现. 北京大学学报（哲学社会科学版）, 2008, 45(2): 57-65.

9 Elhacham E, Ben-Uri L, Grozovski J, et al. Global human-made mass exceeds all living biomass. Nature, 2020, 588: 442-444.

10 亚里士多德. 形而上学. 苗力田, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 1993: 31.

11 范内瓦·布什, 拉什·D·霍尔特. 科学：无尽的前沿. 崔传刚, 译. 北京: 中信出版集团, 2021: 51-114.

12 李春成. 技术科学发展回顾、规划理念与政策展望. 创新科技, 2021, 21(7): 1-10.

13 谢耘. 被误解的“科学”与“技术”. 中国信息界, 2021, (5): 18-19.

14 杜鹏. 加强技术科学是实现高水平科技自立自强的关键. 群言, 2021, (8): 4-7.

15 Fraser G. 21世纪新物理学. 秦克诚, 主译. 北京: 科学出版社, 2013: 5.

16 Hey T, Tansley S, Tolle K. The Fourth Paradigm: Dataintensive Scientific Discovery. Redmond: Microsoft Research, 2009.

New Understanding on Scientific Research

DU Peng[1] SHEN Hua[1] ZHANG Feng[1,2*]

（1 Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2 School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China）

Abstract With the continuous deepening of the nested influence of scientific research and economic society, scientific research has received unprecedented attention. At the same time, it faces bottlenecks in its own development. The scientific research itself, the scientific establishment, and the scientific policy are in a state of change. It is necessary to understand the new laws of scientific knowledge production, and re-understand the interactive relationship between science, technology, and engineering to expand the boundaries of scientific research. This article analyzes the reasons for re-understanding scientific research, expounds the new connotation of scientific research from aspects of object, function and method, and puts forward policy recommendations to adapt the scientific changes.

Keywords scientific research, scientific function, research object, scientific method, research paradigm



杜 鹏 中国科学院科技战略咨询研究院研究员。主要研究领域：科技政策、科学技术与社会、学科政策。近年来主持了中国科学院、中国科学技术协会、国家自然科学基金委员会等的30多项重大课题，参与多项国家科技政策的起草、制定与评估工作。E-mail: dupeng@casisd.cn

DU Peng Professor of Institutes of Science and Development (ISD), Chinese Academy of Sciences (CAS). His research focuses on science & technology policy, science & technology and society, discipline policy. In recent years, he has mainly undertaken more than 30 major projects sponsored by CAS, China Association of Science and Technology (CAST), National Natural Science Foundation of China (NSFC), and so on. He has been involved in drafting, formulating, and evaluating of a number of national science and technology policies. E-mail: dupeng@casisd.cn



张 凤 中国科学院科技战略咨询研究院副院长、研究员。主要从事科技发展战略研究、创新政策研究和现代化研究等。参加和承担多项国家高端智库课题、国家社会科学基金课题、中国科学院战略研究专项等。代表性工作包括参与组织完成“中国至2050年重要领域科技发展路线图研究”，发表《知识创新的原理和路径》《世界现代化指数1950—2010》等文章。E-mail: fzhang@casisd.cn

ZHANG Feng Professor, Deputy Director of the Institutes of Science and Development (ISD), Chinese Academy of Sciences (CAS). Her main research fields include the strategy of S&T, innovation policy and modernization study, etc. The research projects are mainly sponsored by the Program of China Top Think Tanks, the National Social Science Fund of China (NSSFC), and the Strategy Priority Research Program of CAS. The representative achievements include the organization of “Science & Technology in China: A Roadmap to 2050”, and the publications of *The Principle and Route of Knowledge Innovation*, and *World Modernization Indexes 1950 to 2010*. E-mail: fzhang@casisd.cn

■责任编辑：岳凌生

*Corresponding author